



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**BUDOUCÍ TRENDY PRO POHONNÉ JEDNOTKY
NÁKLADNÍCH VOZIDEL**

FUTURE TRENDS FOR TRUCK CAR POWERTRAINS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Střítežský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **David Střítežský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Budoucí trendy pro pohonné jednotky nákladních vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na budoucí trendy pro pohonné jednotky nákladních vozidel na období 2020 až 2040. Předpokládá se, že student získá přehled o potenciálních způsobech pohonu nákladních vozidel. Součástí práce je zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých druhů pohonů z hlediska účinnosti, emisí a vibračního působení na posádku vozidel.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rešerše existujících i potenciálních principů k pohonu nákladních vozidel
- 2) Zhodnocení pravděpodobnosti využití daných variant pohonných jednotek
- 3) Zhodnocení výhod a nevýhod daných řešení z hlediska účinnosti, emisí a vibračního působení na posádku vozidel

Seznam literatury:

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 1-56091-734-2.

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3. vyd. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. ISBN 0768004950

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato rešeršní práce se zabývá možnostmi alternativních pohonů nákladních vozů. Zhodnocuje jejich výhody, nevýhody a pravděpodobnost jejich budoucího rozšíření, především v Evropě. V práci je uvedeno několik příkladů alternativních pohonů, které jsou v různých stádiích realizace. Na závěr následuje zamyšlení nad pohonem, který by v budoucnu dokázal nahradit tradiční spalovací motor.

KLÍČOVÁ SLOVA

nákladní vozidla, alternativní paliva, hybrid, emise

ABSTRACT

Bachelor's thesis is focused on alternative drivetrains used in trucks. There is evaluation of their advantages, disadvantages and probability of future expansion, mostly in Europe. There are also several examples of projects of alternative drivetrains in various stages of realization. In the end there is a reflection about which alternative can replace the traditional combustion engine.

KEYWORDS

Trucks, alternative fuels, hybrid, emissions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRÍTEŽSKÝ, D. *Budoucí trendy pro pohonné jednotky nákladních vozidel*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 32 s. Vedoucí diplomové práce Pavel Novotný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Pavla Novotného, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

David Střítežský

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Pavlu Novotnému, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svojí přítelkyni Ivaně, za podporu při studiu.

OBSAH

Úvod	9
1 Emisní limity	10
2 Naftový pohon	11
3 Cng pohon.....	13
3.1 Cng v ČR – Santa-Trans	14
3.2 Lng pohon.....	17
4 Hybridní pohony.....	19
4.1 Rozdělení hybridů	19
4.1.1 Podle stupně hybridizace	20
4.1.2 Podle uspořádání hybridního pohonu.....	21
4.2 E-HIGHWAY	23
4.3 Mercedes Benz Urban eTruck	25
4.4 Palivové články	27
Závěr.....	29
Použité informační zdroje.....	30
Seznam použitých zkratk a symbolů	32

ÚVOD

Počet automobilů pohybujících se na silnicích, včetně nákladních, neustále narůstá. S omezenými zásobami ropy, je proto nutné nové automobily neustále inovovat a zdokonalovat, zejména v ohledu spotřeby a emisí.

Tato práce se zabývá možnostmi pohonu pro nákladní vozidla v období 2020-2040. Již dlouhou dobu je nejrozšířenější možností pro pohon nákladního vozu vznětový motor.

Prošel více než stoletým vývojem a postupným zdokonalováním.

Posledních několik let pro něj však bylo velkou výzvou, zejména kvůli razantnímu zpřísnění emisních norem. Obsahem této práce je přehled koncepcí, které by ho mohly v budoucnu nahradit.

1 EMISNÍ LIMITY

Jednou ze zásadních podmínek pro provoz nákladních vozů je splnění předepsaných emisních limitů. První emisní norma začala platit v Kalifornii roku 1968, první evropskou normou byla norma EHK 15 z roku 1971. Později se v Evropě začaly uplatňovat tzv. „EURO“ normy. Postupný vývoj emisních limitů EURO, pro nákladní vozy, za posledních cca 20let je vidět v tabulce Tab. 1-1

Tab. 1-1 Vývoj emisních norem EURO[5]

Hodnoty emisí z výfukových plynů pro těžké užitkové automobily a autobusy									
	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3		EURO 4/5		EURO 6	
	88/77/EHS	91/542/EHS		1999/96/ES					
	od 1988 /1990	od 1992 /1993	od 1995 /1996	od 2000		od 2005/2006, resp. 2008/2009		od 2010	
	1. stupeň	2. stupeň	test ESC-ELR ¹⁾	test ETC ^{2) 3)}	test ESC-ELR ¹⁾	test ETC	test ESC-ELR	test ETC ^{2) 3)}	
	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
CO	12,30	4,9	4,0	2,1	5,45	1,5	4,00	1,5	4,0
HC	2,60	1,23	1,10	0,66		0,46		0,46	
NMHC					0,78		0,55		0,55
Metan					1,60 ⁴⁾		1,1 ⁴⁾		1,1 ⁴⁾
NO _x	15,80	9,00	7,0	5,0	5,0	2,5/2,0 ^{*)}	3,5/2,0 ^{*)}	0,50	0,50
Částice		0,40	0,15	0,10	0,16 ⁵⁾	0,02	0,03 ⁵⁾	0,002	0,003
Saze				0,8 m ⁻¹		0,5 m ⁻¹			

¹⁾ změněné/zpřísněné metody zkoušení pro všechny vznětové motory
²⁾ doplňková zkouška pro vznětové motory se systémem následné úpravy výfukových plynů
³⁾ pro plynové motory
⁴⁾ jen pro motory na zemní plyn
⁵⁾ jen pro vznětové motory
^{*)} u normy EURO 5 je snížena pouze limitní hodnota pro oxidy dusíku NO_x ze 3,5 na 2,0 g/km
Limity pro částice se vztahují na celkovou hmotnostní produkci.
ESC = European Stationary Cycle (stacionární zkouška)
ETC = European Transient Cycle (dynamická zkouška)
ELR = European Load Response Test (v budoucnu patrně odpadne, protože je to jen dynamické doplnění stacionární ESC pro zjišťování kouřivosti)

EU vydává novou normu EURO přibližně každé 4 roky. Emisní limity se neustále zpřísnují a výrobci jsou motivováni k vývoji a produkci „čistších“ automobilů. V současnosti platí norma EURO 6, která byla vydána v již v roce 2010. Normy jsou vydávány s předstihem, tak aby výrobci byli schopni na ně reagovat a stihli vyvinout vozy, které budou schopné je splnit. V platnost vstoupila však až 1.9. 2015, to znamená, že všechna nová auta, prodaná po tomto datu, ji musí splňovat.

Není tajemstvím, že časem klesnou předepsané hodnoty škodlivin na takovou úroveň, že jich nebude možné dosáhnout konvenčním pohonem a bude třeba hledat nové cesty jak je snížit. Od alternativních paliv, přes různé stupně hybridizace, až po tzv. „bezemisní“ pohony.

2 NAFTOVÝ POHON

Cummins, Scania a Volvo uvádí na trh nákladní vůz vybavený turbodmychadlem už v roce 1954. Významné rozšíření naftového motoru znamenala ale až první ropná krize v 70. letech. Od té doby byla éra vznětového motoru na vzestupu prakticky až dodnes. Svou oblíbenost si vydobyl především díky svým přednostem:

- Vysoký krouticí moment, už v nízkých otáčkách
- Vyšší účinnost oproti zážehovému motoru, s tím související příznivá spotřeba
- Bezproblémová dostupnost nafty

Trápí ho samozřejmě i nevýhody:

- Hluk
- Znečištění prostředí, emise
- Zvyšující se složitost, především v souvislosti s emisemi.
- Stoupající cena ropy – klesající zásoby

Postupným zpřísněním emisních limitů se u vznětové motory staly kultivovanějšími a čistšími. Přispěla k tomu celá řada konstrukčních vylepšení, vstřikování common rail, turbodmychadlo, VNT – proměnlivá geometrie lopatek turbodmychadla, katalyzátor, atd.

Pro splnění normy EURO 4 a vyšší bylo nutné začít začleňovat do výfukového systému prvky, které ovlivnily emise motorů zásadním způsobem. Motory se s nimi také staly složitějšími a dražšími na vývoj i výrobu.

- **EGR** – Exhaust Gas Recirculation (recirkulace výfukových plynů)
- **DPF** – Diesel Particulate Filter (Filtr pevných částic)
- **SCR** – Selective Catalytic Reduction (Selektivní katalytická redukce)

EGR – Exhaust Gas Recirculation (recirkulace výfukových plynů), část výfukových plynů je pomocí ventilu přivedena do výměníku kde se ochlazuje a poté se přivádí zpět do sání. Zpětné vedení části výfukových plynů do sání se provádí proto, že pomáhá snížit emise výfukových plynů. EGR ventil mají prakticky všechny naftové motory, které splňující emisní limity od normy EURO 4. U některých motorů plnicích EURO 6 mohou být nahrazeny SCR.

EGR ventil otevírá a uzavírá propojení sacího a výfukového potrubí. Když je EGR ventil otevřen, do sacího potrubí se díky podtlaku v sání přepouští určité množství výfukových plynů, které se mísí s nově přichozí směsí/vzduchem. Výsledná směs nasávaná do motoru má díky tomu menší podíl kyslíku, tím dochází ke snížení teploty hoření. Nižší teploty spalování vedou ke snížení emisí oxidů dusíku (NO_x). Vysoké spalovací teploty a přebytek vzduchu mají totiž za následek vysokou produkci oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech.[7]

DPF – Diesel Particulate Filter (Filtr pevných částic), toto zařízení umožňuje vznětovým motorům dosáhnout nižší produkce pevných částic a plnit tak emisní předpisy. V každém vznětovém motoru vznikají při spalování paliva pevné částice (saze), jejich množství je odvislé od kvality spalování. Ta závisí na mnoha parametrech motoru, jako jsou přívod nasávaného vzduchu, způsob vstřikování paliva a rozložení plamene, ale i složení a kvalita paliva.

Filtr pevných částic tvoří keramické těleso s voštinovou strukturou vytvořenou z karbidu křemíku, které je umístěno v kovovém plášti. Tělesem filtru procházejí výfukové plyny skrze pórovitou keramickou stěnu, ve které jsou pevné částice zachycovány. Aby nedocházelo k zanesení a ucpání filtru, jsou zachycené částičky spalovány a přeměňovány na oxid uhličitý (CO_2) – tzv. regenerace filtru. [7]

SCR – Selective Catalytic Reduction (Selektivní katalytická redukce)

Jednou z cest jak snížit množství oxidů dusíku (NO , NO_2) ve výfukových plynech je selektivní katalytická redukce využívající vstřikování močoviny do výfukového potrubí. Obchodní název pro močovinu je AdBlue.

Výfukové plyny očištěné od sazí následně procházejí procesem selektivní katalytické redukce SCR. Princip této redukce spočívá ve vstřikování aditiva AdBlue na bázi močoviny před katalyzátor do výfukového potrubí. Močovina se smíchá s plyny z filtru pevných částic, jejichž teplo přemění AdBlue na čpavek, který začne reagovat s oxidy dusíku (NO_x). NO_x se rozloží na neškodný dusík a vodní páru. Podobně jako u klasického katalyzátoru dochází k této reakci pouze u dostatečně zahřátého motoru. Téměř všechny vznětové motory, plnící poslední emisní normu EURO 6 jsou SCR vybaveny. [7]

3 CNG POHON

CNG (Compressed Natural Gas) je stlačený zemní plyn. Je možné jej použít se jako palivo pro pohon motorových vozidel a je považován za relativně čistější alternativu k benzínu a motorové naftě, ale také k LPG. Přesto, že jedná o fosilní palivo, zemní plyn je považován za ekologické palivo. Zásoby zemního plynu představují v porovnání s ropou asi dvojnásobek.

Výhody

- stálá kvalita plynu
- tichý chod motoru
- nižší emise
- minimální spotřební daň
- osvobození CNG vozidel od silniční daně
- nabídka originálně upravených vozů na CNG
- možnost výroby BioCNG z odpadů a z obnovitelných zdrojů

Nevýhody

- menší síť čerpacích stanic (možno eliminovat vlastním plněním)
- vyšší náklady na pořízení továrně upravené CNG verze
- náročnost na prostor - rozměrné a těžké tlakové nádrže
- menší dojezdová vzdálenost

Oproti dieselovým motorům mají emise CO₂ nižší o 30%, pro NO_x pak nižší o 70%. Další přednost je v nulových emisích aromatických uhlovodíků, aldehydů a dalších karcinogenních látek. Pevné částice jsou dokonce až o 95% menší než produkuje diesel Euro 6. Chod CNG motoru je také výrazně klidnější, významně poklesl hluk i vibrace. Vnitřní hlučnost klesla až o 70%, což ocení posádka vozidla, a vnější hlučnost klesla zhruba o 50%, což ocení okolí.

V blízké budoucnosti se právě CNG stane adekvátní náhradou konvenčních paliv. Jeho přednosti jsou hlavně v tom, že se také jedná o fosilní palivo a jeho zavedení nebude pro společnost znamenat výraznou změnu jejího stylu a způsobu dopravy. Samozřejmě bude třeba vybudovat dostatečně rozsáhlou a hustou síť čerpacích stanic, avšak spousta zavedených věcí se téměř nezmění – výkony vozidel, spotřeba, doba tankování.

3.1 CNG v ČR – SANTA-TRANS

Firma Santa-Trans s. r. o. byla založena roku 1997 jako dceřiná společnost Kofola a.s. Začínala s pěti nákladními vozy značky LIAZ a AVIA. V dnešní době její flotila čítá více jak 100 nákladních vozidel v České republice a přes 25 vozů ve Slovenské pobočce Santa-Trans SK, s. r. o. Tato firma byla založena roku 2006 rovněž jako dcera společnosti Kofola Holding a zajišťuje dopravu po Slovensku a ostatních státech Evropy. Dnes je firma Santa-Trans s. r. o. jedním z největších dopravců v Moravskoslezském kraji.

Společnost SANTA-TRANS začala provozovat vozidla s pohonem na CNG v roce 2014, kdy do svého autoparku začlenila sedm tahačů Iveco Stralis s pohonem na CNG. V listopadu 2015 firma převzala prvních pět plynových Scanií G340 a během srpna 2015 rozšířila počet o dalších 12 vozů této značky.



Obr. 3-1 Iveco Stralis 330 CNG[14]

POUŽÍVANÁ VOZIDLA

Iveco stralis 330 je vybaveno řadovým šestiválcem o objemu 7.800 ccm s výkonem 243kW (330 k) a točivým momentem 1300 Nm v rozsahu otáček 1200 – 1800.

Scania G340 Streamline je poháněna řadovým pětiválcem o zdvihovém objemu 9.300 ccm, který vozidlu dodá točivý moment 1600 Nm již od 1100 ot./min. až do 1400 ot./min. a maximální výkon 250 kW (340 k) od 1700 ot./min.

Cena tahačů je smluvní, flotila se prodává za příznivější cenu než jednotlivé kusy, nicméně CNG tahač vychází přibližně o 25% draž než srovnatelný dieselový tahač. Doba návratnosti vložených prostředků do těchto vozidel závisí na pořizovací ceně CNG paliva.

Jednou z nevýhod těchto vozidel jsou nižší výkonové parametry, což jim občas činí potíže v kopcovitém terénu, zejména pak v táhlých stoupáních mohou lehce brzdit provoz, záleží však na řidičích.

DOJEZD, TANKOVÁNÍ

Jistým omezením může být dojezd vozidel na CNG. U výše zmíněných vozidel je to přibližně 300km a naplnění tlakové nádrže 90 kg CNG lze dosáhnout za 10 – 15 minut při tlaku 200 barů. Velkoodběratelé zemního plynu, mají také možnost vybírat vhodného dodavatele a vyjednat s ním výhodnější podmínky a ceny dodávek CNG v závislosti na předpokládané spotřebě. Firma má v areálu vlastní čerpací stanici a ředitel společnosti Jiří Hartmann k tomu dodává.

„Dojezd nám vyhovuje, protože naše trasy se nepočítají na tisíce kilometrů. Denně jezdíme v průměru 300 km, což je přibližně dojezdová vzdálenost CNG vozidla. Navíc máme tankovací karty, jsme registrováni v celém CNG systému, takže bez problémů tankujeme na všech plnicích stanicích, které umožňují plnění kamionů. Není jich sice mnoho, ale pro naše potřeby je hustota sítě naprosto dostačující.“ [10]

SROVNÁNÍ SPOTŘEBY CNG A NAFTY

Průměrné ceny paliv, k 10.5.2017

1 litr nafty – 29,86Kč

1kg CNG – 24,63kč

Kromě nižší ceny za jednotku paliva, se také značně projeví nižší spotřeba CNG vozů. Srovnání je provedeno s vozem Volvem FM 11450, dle Santa-Trans, jednoho nejúspornějších dieselových vozů v jejich flotile. Firma dále uvádí, že zkušenější řidiči dokáží srazit měsíční spotřebu CNG vozů až na 24kg/100km. Na druhé straně, vozy s naftovými motory se jen zřídka dostanou pod 30l/100km.

Tab. 3-1 Srovnání spotřeby, období od 1. 1. 2016 do 30. 9. 2016[9]

Typ vozu	Typ paliva	Ujetá vzdálenost (km)	Spotřeba	Průměrná spotřeba
Scania G340	CNG	491 020	133 299 kg	27,15 kg
Iveco Stralis 330	CNG	272 370	81 045 kg	29,76 kg
Volvo FM 11450	diesel	644 521	199232 litrů	30,91 litrů

DALŠÍ POSTUP

Firma je s vozidly spokojena a má v plánu zvýšit podíl CNG vozů ve své flotile na cca 60%. Úplné pokrytí v plánu není, jelikož společnost uvádí: "...máme i zakázky, ke kterým CNG vozidla nejsou ještě zcela vhodná..." [9]

3.2 LNG POHON

LNG – Liquefied Natural Gas (zkapalněný zemní plyn). LNG je zkapalněný zemní plyn, který má při atmosférickém tlaku (101 325 Pa) teplotu přibližně -162°C . Je to namodralá, netoxická, nekorozivní, průzračná kapalina s minimální viskozitou.

Hlavní výhodou oproti CNG je cca 3x menší objem, což pro vozidla na LNG znamená 3x delší dojezd, při stejné objemné nádrži. LNG by mohl být zajímavou alternativou pro dálkovou nákladní dopravu, kdy dojezd na plyn může dosáhnout až 1000km.

Koncept Iveco Z Truck slibuje výkon 338kW(460k) a točivý moment 2000Nm. Kromě toho má vynikat oproti naftovým vozům o 33% nižší spotřebou a také výrazně nižšími emisemi. Dojezd má přesáhnout 2000km, jedná se však zatím pouze o koncept.



Obr. 3-2 Iveco Z Truck concept [12]

Mezi hlavní nevýhody LNG patří zejména energetická a technologická náročnost jeho zkapalňování. Další problémy se pojí s jeho přepravou a uskladněním, které musí probíhat za velmi nízkých teplot. Při delším odstavení vozidla také dohází k jeho odpařování z nádrže – proto není vhodný pro osobní vozidla.

LNG v EVROPĚ

V Evropě je dnes asi 80 LNG stanic. Aby se mohla dálková nákladní doprava na LNG rozšířit napříč Evropou, musí být nejprve zřízena dostatečná infrastruktura LNG stanic. A tak vznikl projekt tzv. Modrých koridorů, nabízejících síť LNG stanic pro těžká vozidla.

Už do konce roku 2016 by se mělo otevřít v Evropě nejméně dalších 50 LNG stanic, z čehož 2–3 by měly být právě v ČR a na Slovensku. Svůj podíl na tom má v roce 2014 schválení Evropské Směrnice o zavedení infrastruktury pro alternativní paliva a následně Národní akční plány členských zemí.

Do pěti let tak počítá i u nás Národní akční plán čistá mobilita s výstavbou nejméně 5 LNG stanic ve vzdálenosti nejdále 400 km od sebe.

Národní akční plán čistá mobilita mimo jiné o:

Mimo jiné se jedná o:

- Dotace na nákup vozů s nízkými emisemi
- Podpora výstavby infrastruktury
- Zvýšení poplatků za registraci aut s vysokými emisemi
- Zvýhodněné parkování
- Zvýhodnění při nákupu dálniční známky
- Důraz na vozy s alternativním pohonem při státních a komunálních zakázkách

4 HYBRIDNÍ POHONY

Použití elektrické energie k pohonu nákladních vozů se v současnosti na první pohled může zdát neefektivní a nedostatečné řešení. Jednoznačně největší nevýhodou elektrického pohonu jsou baterie. Za posledních několik let se jejich technologie posunula o velký kus vpřed. Zatím však stále není na takové úrovni, aby nahradila stávající konvenční pohony. Měrná kapacita (energie na kilogram) nejlepších současných akumulátorů dosahuje u Li-ion baterie cca. 100-250 Wh/kg, zatímco měrná kapacita nafty je cca 12 kWh/kg. Což znamená, že „nákladní elektromobil“, určený pro dálkovou přepravu, by musel být mnohonásobně těžší, aby se dojezdem vyrovnal naftovým konkurentům. Navíc nutnost „tankovat“ v řádu hodin namísto minut také značné negativum.

Pro specifické aplikace je však možné tento pohon použít již nyní. Různé typy lokální přepravy:

- svoz odpadu
- poštovní služby
- autobusová doprava

4.1 ROZDĚLENÍ HYBRIDŮ

Hybridy můžeme dělit podle několika kritérií. Ty nejpodstatnější jsou podle stupně hybridizace a podle uspořádání pohonu. [5][6]

4.1.1 PODLE STUPNĚ HYBRIDIZACE

MICRO HYBRID

Mikrohybridní automobily jsou dnes již naprosto běžné – v podstatě se jedná o vylepšený systém Stop&Start, který vypíná motor v malé rychlosti ($<20\text{km/h}$) ještě před zastavením vozidla, často spojený s kondenzátorem, který následně pomáhá se startem spalovacího motoru.[5][6]

MILD HYBRID

Mild-hybridy mají elektromotor s nízkým výkonem, u osobních automobilů obvykle do 15 kW, který není schopen pohánět automobil samostatně delší dobu. Obvykle je umístěn mezi motor a převodovku s cílem je vypomáhat spalovacímu motoru při rozjezdech či předjíždění, nebo v momentech, kdy by spalovací motor neběžel v ideálním režimu. Může také fungovat jako startér pro spalovací motor. Při brždění funguje jako generátor, rekuperuje brzdnou energii a ukládá ji do akumulátoru o malé kapacitě je zpravidla v rozmezí 0,4- 1,0 kWh [5]

FULL HYBRID

Full hybrid by se dal nazvat vrcholnou formou hybridizace, protože je definován relativně rovnovážným poměrem jednotlivých zdrojů energie. Díky tomu umožňuje čistě elektrický provoz a v některých případech i čistě konvenční režim. Ve většině jízdních režimů spolu ale tyto zdroje kooperují s cílem dosažení nejvyšší efektivity provozu. Baterie jsou dimenzovány na pár desítek kilometrů, aby pokryly každodenní kratší výlety. [5]

PLUG-IN HYBRID

Plug-in hybrid je speciální forma full hybridu, který je vybaven rozměrným akumulátorem umožňujícím čistě elektrický dojezd v řádu desítek km a je schopen se dobíjet z vnějšího zdroje energie. Jednou z hlavních myšlenek plug-in hybridu je, že elektrická energie vyrobená v rámci zdroje na palubě každého jednotlivého vozidla je výrazně dražší a produkuje více emisí než energie vyrobená v rámci rozvodné sítě ve velkých elektrárnách.

Možnost pohybovat se v městském provozu s nulovými přímými emisemi je velmi žádoucí především ve velkých městech, které mají problémy s lokálním klimatem. Pohyb na dlouhé vzdálenosti s vlastnostmi typickými pro full hybrid je druhou výhodou. A vše v jednom vozu. Mezi nevýhody a řekněme i překážky pro masové šíření v dnešní dny je vysoká cena akumulátorů, problematická životnost, vysoká hmotnost a nemalé rozměry. [5]

4.1.2 PODLE USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU

SÉRIOVÝ

Sériový hybridní pohon automobilu se v mnohém podobá čistě elektrickému vozidlu. Pohon kol je realizován pouze elektromotorem, který má lepší průběh točivého momentu a rozsah otáček než spalovací motor, zpravidla není potřeba převodovka. Spalovací motor je v tomto případě pouze jako generátor, který dobíjí baterie. Díky tomu je možné jej dimenzovat na běh ve stacionárních otáčkách, kde bude běžet s vysokou účinností, případně se nabízí použití různých technických řešení, např. Wankelův motor.

Tato vozidla jsou často označována jako REV – elektrická vozidla s „range extenderem“. Často jsou zmiňována jako cesta blízké budoucnosti, neboť kombinují výhody elektrického pohonu s akumulátorem, a zároveň možnost rychlého doplnění paliva vozidel se spalovacím motorem, který ale není velkou zátěží navíc jako v případě použití velkokapacitních baterií. [5]

PARALELNÍ

Základními vlastnostmi paralelního uspořádání je mechanické propojení elektromotoru se spalovacím motorem, z čehož plynou další výhody a nevýhody. Základní nevýhodou, která komplikuje efektivnost pohonu v porovnání s kombinovaným, nebo sériovým uspořádáním je přímá závislost otáček obou motorů. Za výhodu je možné považovat možnost sčítání výkonů obou motorů. Konkrétních forem uspořádání může být mnoho typů, ale jednoznačně nejrozšířenější je varianta, kde je elektromotor integrován do převodové skříně, nebo je vložen mezi spalovací motor a převodovou skříň. Elektromotor je od spalovacího motoru oddělen zpravidla spojkou, aby bylo možné provozovat pohon jako čistě elektrický. Toto uspořádání je výhodné pro poměrně malé nároky na otáčkový rozsah elektromotoru, protože i elektromotor pohání nápravu skrze převodovku, což se ale pojí s nevýhodou z hlediska účinnosti, kde účinnost elektromotoru je degradována konvenční převodovkou. Toto řešení je velmi jednoduché a konstrukčně se příliš neliší od konvenčního provedení, proto je také tak rozšířené. [5]

KOMBINOVANÝ

Kombinované uspořádání pohonu znamená kombinaci obou předchozích uspořádání. Toto uspořádání vzniklo, tak aby těžilo z výhod paralelního i sériového uspořádání a potlačilo jejich nevýhody. Kombinovaný hybrid se dokáže při nízkých rychlostech, akceleraci a střídavém zatížení chovat jako sériový hybrid s vysokou účinností spalovacího motoru a klidných chodem a při konstantní jízdě se chová jako paralelní hybrid s mechanickým přenosem výkonu, tedy s lepší účinností oproti elektromechanickému přenosu. Z této definice se zdá kombinovaný hybrid jako ideální řešení s vysokou účinností ve všech jízdních režimech. V praxi se to již tak jednoznačně neprojevuje a navíc je tu velká konstrukční složitost tohoto řešení.[5]

4.2 E-highway

Projekt udržitelné nákladní dopravy realizovaný ve Švédsku, spočívá v elektrifikaci dálnice a osazení vozidel elektromotorem a pantografy – systém známý z trolejbusové dopravy. Do „Gävle Electric Road“ (E-highway), projektu podporovaného švédskou vládou, se zapojil domácí výrobce nákladních vozů – Scania, která vyvinula hybridní nákladní vozy a také firma Siemens, která se podílela na elektrifikaci samotné. Elektrifikovaný úsek o délce cca 2km se nachází na dálnici E16, poblíž města Gävle, severně od Stockholmu. Prozatím na něm probíhá testovací provoz s dvojicí hybridních Scanií G 360 4 x 2.

Tab. 4-1 Parametry vozidla použitého v projektu[16]

Model:	Scania G 360 4×2, váha 9 tun
Pohonné ústrojí:	Paralelní hybrid, integrováno v převodovce (GRS895)
Motor:	Řadový 5ti válec 9,0L , 268kW (biopalivo)
Elektrický motor:	130kW, 1050Nm
Baterie:	Li-Ion 5 kWh (umožňuje dojezd až 3km, bez připojení k vedení)
Napětí:	700V

Elektrifikovaný je pouze pravý pruh dálnice. Pokud do něj kamion najede, vysune pantograf upevněný na kabině, připojí se k vedení a k pohonu mu stačí pouze jeho elektromotor, což znamená, že po celou dobu provozu na takovéto dálnici budou mít tyto vozy nulové lokální emise. Celá soustava je navržena tak, aby kamiony byly schopny dosáhnout a udržet si rychlost 90km/h.

Vozy se mohou kdykoliv za jízdy snadno od vedení odpojit nebo připojit, pokud to budou okolnosti vyžadovat – předjíždění, porucha, konec elektrifikovaného úseku, apod. V tom případě mohou nadále pokračovat v jízdě díky baterii nebo spalovacímu motoru. Naftový motor samozřejmě plní nejnovější emisní normu – EURO 6 (díky kombinaci EGR a SCR) a výrobce garantuje i možnost spalování 100% biopaliva.



Obr. 4-1 Hybridní Scania G360 4x2[16]

Scania udává, že její hybrid vyprodukuje o 80-90% méně emisí a díky vysoké účinnosti elektromotoru má také o 50% nižší celkovou spotřebu energie, než srovnatelný vůz spalující fosilní paliva.

Švédsko plánuje do roku 2030 dosáhnout v oblasti nákladní dopravy udržitelný stav, zcela nezávislý na fosilních palivech. Toto by pro něj mohl být jeden ze zásadních projektů v jeho úsilí o čistší a také energeticky efektivnější dopravu.

4.3 MERCEDES BENZ URBAN eTRUCK

Mercedes představil svůj elektrický model – Mercedes Benz Urban eTruck již v roce 2016 a tento rok se předají první vozidla zákazníkům.

Stefan Buchner, vedoucí divize nákladních vozidel Mercedes-Benz, uvádí:

„Odezva zákazníků po světové premiéře v září 2016 na IAA byla vynikající. V současnosti jednáme s 20 potenciálními zákazníky z odvětví likvidace odpadu, potravinářského průmyslu a logistiky. Zkušebním provozem malé série nyní rychle učiníme další kroky směrem k novému velkosériově vyráběnému produktu, který začneme dodávat do roku 2020.“ [14]



Obr. 4-2 Mercedes Benz Urban eTruck [14]

Urban eTruck je elektromobil, se zadní nápravou poháněnou dvěma elektromotory o výkonu 2 x 125kW a kroutícím momentu 2 x 500Nm. Dále je vybaven Li-ion baterií s kapacitou 212kWh, která mu umožňuje dojezd až 200km – dle mercedesu dost pro typický denní rozvoz po městě. Baterie lze dobít, pomocí rychlonabíjecí stanice „Combined Charging System (CCS)“ za 2-3hodiny, což zní velmi dobře, avšak o životnosti baterie nebo počtu cyklů se mercedes nezmiňuje. Jako všechny moderní elektromobily umí dobíjet baterie při brždění. Novinkou je ukazatel dojezdu, který vypočítává dojezd na základě předešlého stylu jízdy a navíc – díky 3D mapě – počítá i se stoupáními.

K jeho hlavním výhodám patří:

- Nulové emise, Tichý provoz – zvláště vhodné, vzhledem k zaměření na provoz ve městech
- Vibrační působení na posádku – takřka nulové, ve srovnání s naftovým motorem
- Užitečná hmotnost 12,8 t



Obr. 4-3 baterie umístěna v rámu vozidla pro lepší rozložení váhy a úsporu místa[14]

4.4 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Další možností jak dobít elektromobil, kromě zásuvky nebo spalovacího motoru jsou palivové články. Chemickou reakcí umožňuje dobít baterie elektromobilu, jako palivo používá čistý vodík.

Mezi největší přednosti tohoto řešení patří výrazné zvýšení dojezdu, „bezemisní provoz“ – emise z chemické reakce jsou pouze teplo a voda, možnost dotankovat palivo během několika minut – teoreticky – o síť čerpacích stanic téměř neexistuje.

Jako každý typ pohonu i tento trápí několik nevýhod, tím největším je jednoznačně cena – palivové články jsou velice drahé na výrobu, obsahují totiž vzácné kovy. Vodík jako palivo je ideální, je ho na zemi nejvíce ze všech prvků, jenže články potřebují pro svoje fungování čistý vodík, ten se v přírodě nevyskytuje, je nutné ho vyrobit a to je také velice nákladné.

Po Evropě funguje několik desítek až stovek vozidel, využívající k provozu palivové články. Většinou se jedná o autobusy pro lokální přepravu v ekologických projektech (včetně vlastních čerpacích stanic) vyspělejších zemí (Belgie, Německo, USA) ve všech případech značně dotovaných vládou. Pro soukromou firmu je jejich pořízení bez dotací v podstatě nemožné.

NIKOLA MOTOR COMPANY

Sériovou výrobu v odvětví dálkové nákladní dopravy využívající vodíkové články slibuje americká firma Nikola motor Company. Prozatím byl odhalen koncept Nikola One



Obr. 4-4 Nikola One [20]

Firma slibuje vskutku impozantní provozní vlastnosti:

- Výkon 1000hp
- Kroutící moment 2700Nm
- Dojezd 1600km
- Čas tankování 15min
- Pohon elektromotory - bezemisní provoz
- Vybudování vlastní distribuční sítě vodíku pro palivové články

Pokud dostojí svým slibům, bude to skutečně velký průlom na poli nákladní dopravy. Začátek výroby je naplánován na rok 2020, první série by měla čítat 5000ks tahačů.

ZÁVĚR

Je velmi těžké předpovědět trend pohonu nákladních vozů na příštích 20 let. Dlouholetá éra klasického vznětového motoru se pomalu chýlí ke konci. Jejich pád určitě nebude tak strmý, jako u osobních automobilů (některé malé automobily nemají vznětové motory v nabídce již nyní), ale také k němu dojde. Hlavním aktérem budou neúprosné emisní normy, které se zpřísní natolik, že nebude možné jich dosáhnout nehybridním pohonem. Nedávno odhalené skandály s emisemi (nejen) u Volkswagenu jim také příliš nepomohly.

Jistotu pro několik příštích let by měla poskytnout plynná paliva – LPG, CNG, LNG. Příznivé emise, srovnatelné výkony, ekonomická stránka – jsou přednosti, kterým hybridní či plně elektrické vozy nemohou konkurovat, zatím. Snad všichni výrobci nákladních vozů již dnes nabízí verzi spalující právě CNG. Což naznačuje, kterým směrem se bude blízká budoucnost ubírat.

Hybridní pohony se také pomalu, ale jistě dostávají do povědomí výrobců i veřejnosti. Omezuje je v podstatě pouze kapacita baterie. I s tímto handicapem je, ale možné pracovat, tak jak to dokazují projekty Scanie a Mercedesu.

Velcí výrobci, s dlouholetou tradicí (např. Scania a Mercedes), kteří udávali trendy na poli nákladní dopravy již v minulosti, je budou téměř jistě udávat také v budoucnosti. Výroky některých ostatních automobilek o převratech v tomto segmentu mohou znít trochu neuvěřitelně, ale co je neuvěřitelné dnes, může být za 20 let realita.

Zajímavá by také mohla být kombinace s dalšími moderními prvky ze světa automobilismu, např. autonomní řízení. Hybridní tahače cestující po elektrifikovaných dálnicích - bez emisí, bez řidičů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] STONE, R. *Introduction to Internal Combustion Engines*. Fourth Edition. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012. 516 s. ISBN 978-1-137-02829-5.
- [2] DRÁPAL, L., VOPAŘIL, J. Shape Design of a Piston Ring. In: *Transport Means 2016: Proceedings of the 20th International Scientific Conference*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2016, s. 767-771. ISSN 1822-296 X.
- [3] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. Auto-moto-profi (CPress). ISBN 978-80-264-0160-5.
- [4] FRYBERT, Jan. *Alternativní pohony*. Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2015. ISBN 978-80-260-7548-6.
- [5] Brož, Jiří a Trnka, Luboš. Praktická dílna – Snižování emisí spalovacích motorů vozidel I a II. *autoExpert*. 2009, roč. 14, č. 9 a 10. Praha: Autopress, s.r.o., 2009. ISSN 1211-2380
- [6] BARTÁK, Petr. *Hybridní pohony v automobilových aplikacích*. Plzeň, 2010. Dostupné také z: http://home.zcu.cz/~rcermak/opvk_cm/M_02.pdf
- [7] AUTOLEXICON [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net>
- [8] JIRKA, Tomáš. *Hybridní systémy pro pohon automobilů* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu>
- [9] SNÁŠEL, Jan. *SANTA-TRANS* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.energieinfo.cz/2016/12/jezdime-s-kamiony-na-plyn-cng/>
- [10] SCANIA [online]. 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://www.scania.com/cz/cs/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2015/12/rel-p_t_novych_scaniinacngbudevozitkofolu-60-508949.html
- [11] CNG [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.cng.cz/>
- [12] IVECO [online]. 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.iveco.com/Corporate-en/Company/Pages/Iveco-Vision.aspx>
- [13] Wikipedia [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- [14] *Www.hybrid.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektricky-nakladak-mercedes-benz-urban-etruck-miri-do-vyroby>

- [15] *Daimler* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/products/trucks/mercedes-benz/urban-etruck.html>
- [16] *Scania* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/scania-tests-next-generation-electric-vehicles/>
- [17] *Siemens* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: [http://www.siemens.com/press/en/feature/2015/mobility/2015-06-eHighway.php?content\[\]=MO#event-toc-3](http://www.siemens.com/press/en/feature/2015/mobility/2015-06-eHighway.php?content[]=MO#event-toc-3)
- [18] HORČÍK, Jan. *Mikrohybrid, plug-in nebo asistovaný? Uděláme vám v autech jasno!* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mikrohybrid-plug-nebo-asistovany-udelame-vam-v-autech-jasno>
- [19] *Www.proelektrotechniky.cz* [online]. 2013 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/66.php>
- [20] *Nikola motor company* [online]. 2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://nikolamotor.com>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CNG – Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)

DPF – Filtr pevných částic (Diesel Particulate Filter)

EGR – Recirkulace výfukových plynů (Exhaust Gas Recirculation)

EGR – Recirkulace výfukových plynů (Exhaust Gas Recirculation)

EU – Evropská Unie

EURO – emisní normy, vydávané EU

Li-ion - Lithium-iontová baterie

LNG – Zkapalněný zemní plyn (Liquified Natural Gas)

LPG – zkapalněný ropný plyn (Liquified Petroleum Gas)

SCR – Selektivní katalytická redukce (Selective Catalytic Reduction)